

Modélisation des flux de piétons

Thomas Robin

mardi 15 juin 2010

Sommaire

- 1) Introduction
- 2) Modèles macroscopiques
- 3) Modèles microscopiques
- 4) Simulation
- 5) Conclusion

Introduction

Introduction: définitions

- **Piéton**: Homme qui va à pied. Il s'emploie surtout au pluriel et s'applique aux personnes des deux sexes.
- **Modèle**: représentation simplifiée d'un système complexe au moyen d'équations et de relations.

➡ Description du phénomène

➡ Prédiction du phénomène

Introduction: motivation

- Décrire les flux de piétons et les comportements individuels pour:

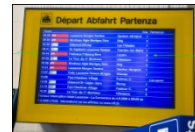
➡ Compréhension du comportement humain

➡ Design de nouvelles infrastructures

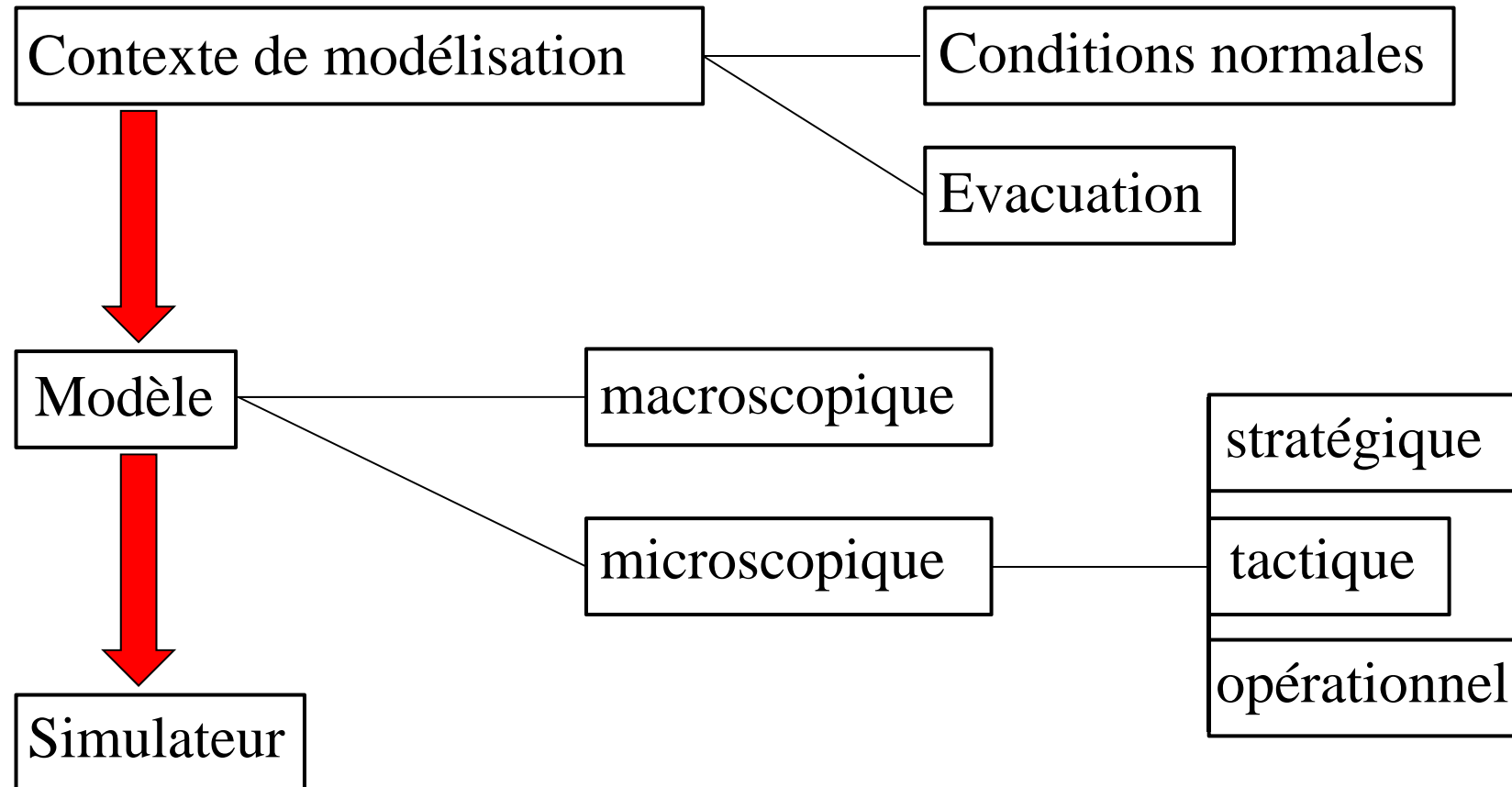
➡ Exploitation d'infrastructures actuelles

➡ Signalétique 

➡ Système d'information



Introduction: processus de modélisation



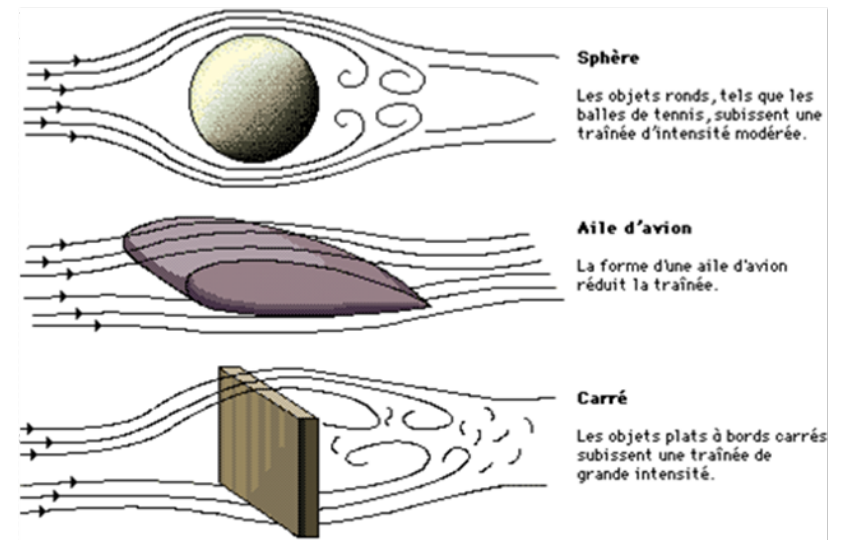
Modèles macroscopiques

Modèles macroscopiques

- Comportement des foules
- Analogie avec la mécanique des fluides



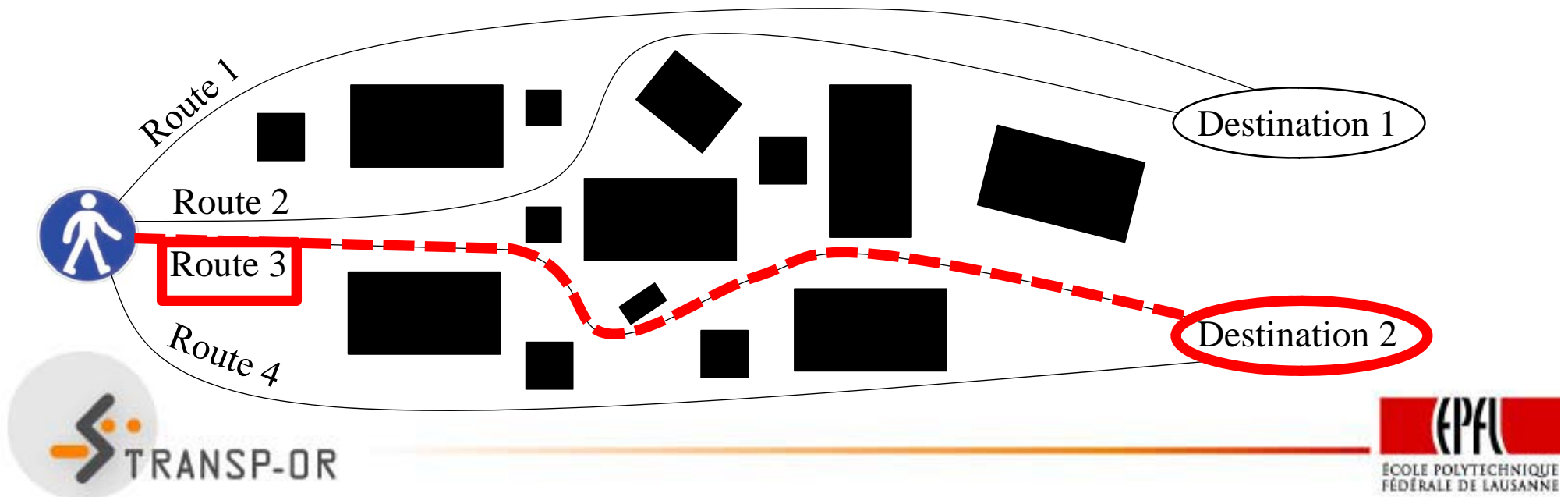
© M. Bobillier <http://blog.athos99.com>



Modèles microscopiques

Modèles microscopiques

- Comportement de chaque piéton
- Différents niveaux:
 - Stratégique: choix de la destination
 - Tactique: choix de la route
 - Opérationnel: choix du prochain pas



Modèles microscopiques: stratégiques et tactiques

• Choix de la destination:

Ex:

- Timmermans, H. (1996). A stated choice model of sequential mode and destination choice behavior for shopping trips, *Environment and Planning A* 28: 173–184.
- Zhu, W. and Timmermans, H. (2005). Exploring pedestrian shopping decision processes and application of gene expression programming, in S. Netherlands (ed.), *Pedestrian and Evacuation Dynamics 2005*.

• Choix de la route:

Ex:

- Seneviratne, P. and Morrall, J. (1985). Analysis of factors affecting the choice of route of pedestrians, *Transportation planning and technology* 10(2): 147–159.
- Daamen, W., Bovy, P. and Hoogendoorn, S. (2005). Influence of changes in level on passenger route choice in railway stations, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1930: 12–20.

Modèles microscopiques: opérationnels

- Choix du prochain pas
- Différents types de modèles:

- **Modèles physiques**

- ➡ Equation de la trajectoire

- **Automates cellulaires**

- ➡ Discrétisation de l'environnement (spatial)

- **Modèles de choix discret**

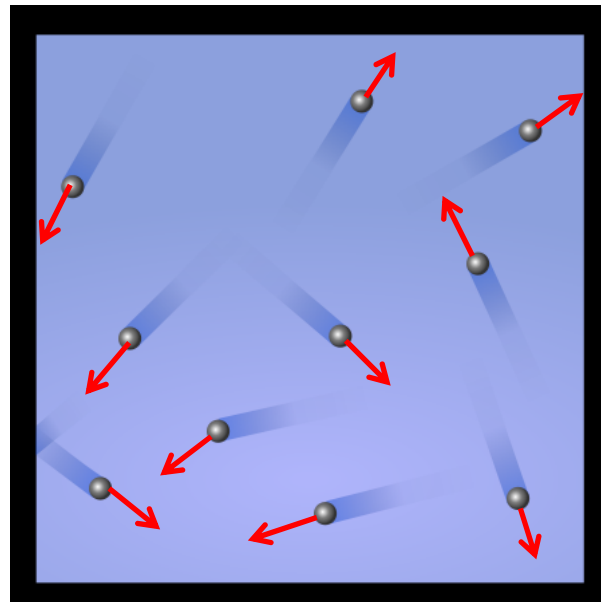
- ➡ Discrétisation de l'espace visuel du piéton (comportemental)



Modèles microscopiques: opérationnels

- Modèles physiques:

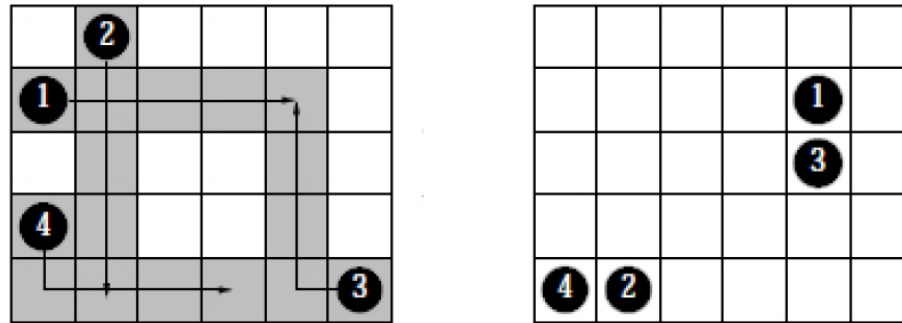
- Environnement continu
- Piéton = particule
- Mouvement engendré par des **forces** (attraction, répulsion, propulsion)



Helbing, D. and Molnar, P. (1995). Social force model for pedestrian dynamics, *Physical review E* 51(5): 4282–4286.

Modèles microscopiques: opérationnels

- Automates cellulaires:
 - Environnement discrétisé en cellules
 - Piéton = cellule pleine (en mouvement)
 - Mouvement engendré par des **règles** précises

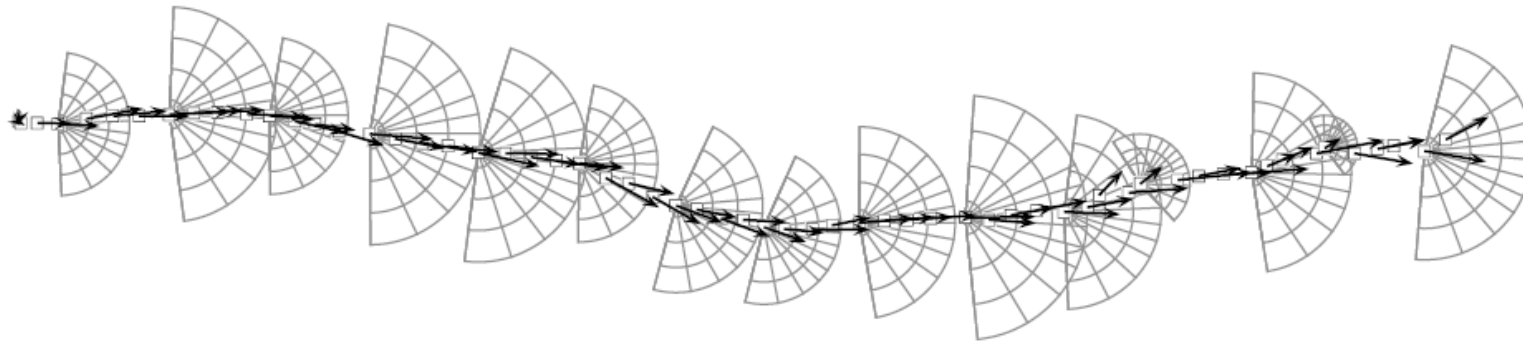


Schadschneider, A. (2002). Cellular automaton approach to pedestrian dynamics — Theory, in M. Schreckenberg and S. Sharma (eds), *Pedestrian and Evacuation Dynamics*, Springer, pp. 75–86.

Modèles microscopiques: opérationnels

- Modèles de choix discret

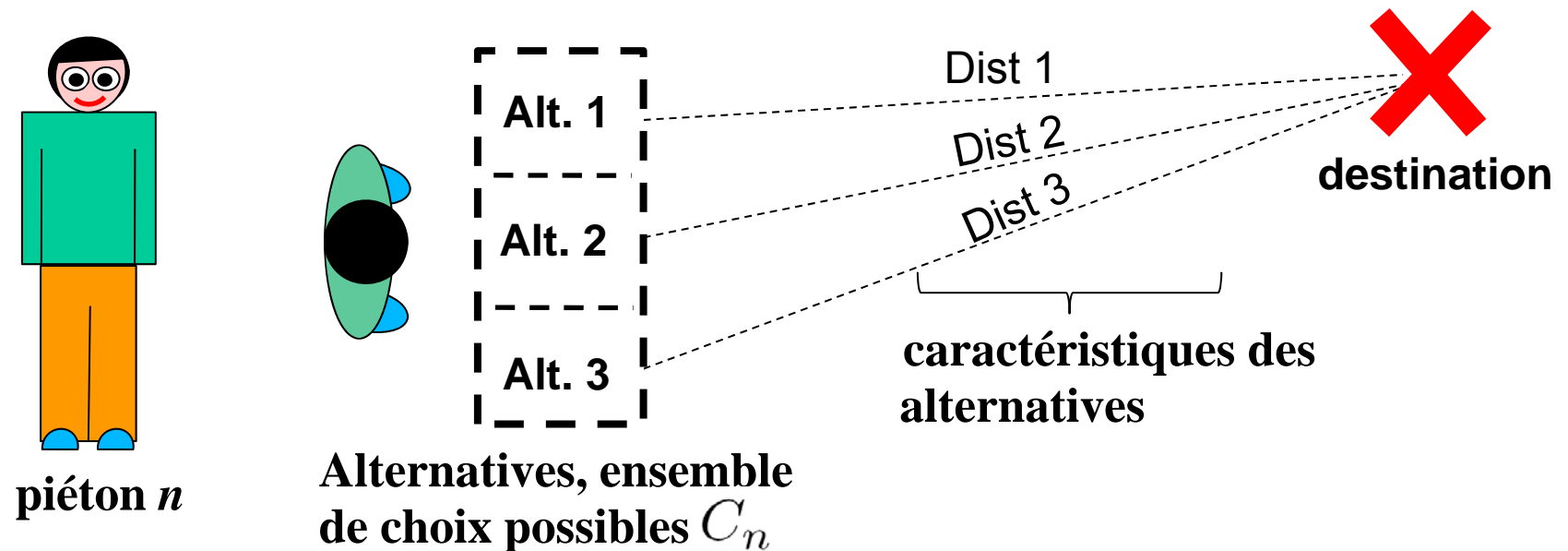
- Environnement continu
- Piéton = particule,
- Mouvement engendré par la **maximisation d'utilité**



Robin, T., Antonini, G., Bierlaire, M. and Cruz, J. (2009). Specification, estimation and validation of a pedestrian walking behavior model, *Transportation Research Part B: Methodological* 43(1): 36–56.

Modèles microscopiques: opérationnels

Modèles de choix discret: exemple

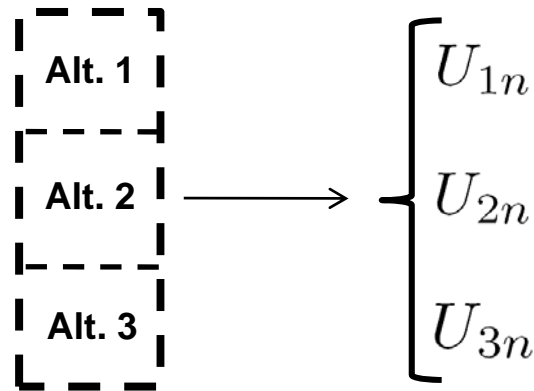


➔ **Quelle alternative va-t-il choisir?**

Modèles microscopiques: opérationnels

Modèles de choix discret: **exemple**

- **Théorie de maximisation de l'utilité**
- Association d'une fonction appelée utilité à chaque alternative
- Elle dépend de l'**alternative i** , et du **piéton n**



 le piéton n va choisir l'alternative i qui a
la plus grande utilité

Modèles microscopiques: opérationnels

Modèles de choix discret: **exemple**

- L'utilité est un **concept latent**
- L'utilité ne peut être directement observée
- Piéton: règles de décision stochastiques
- Analyste: manque d'information

} **incertitude**

$$U_{in} = V_{in} + \epsilon_{in}$$

V_{in} : partie déterministe de l'utilité associée à l'alt. i par l'individu n

ϵ_{in} : terme d'erreur, différentes **hypothèses** peuvent être faites sur sa **distribution**

Modèles microscopiques: opérationnels

Modèles de choix discret: **exemple**

- **Exemple** : V_{in} dépend uniquement de la distance à la destination

$$V_{in} = \beta dist_i$$

β : paramètre inconnu, **doit être estimé à partir de données**

$dist_i$: distance entre l'alternative i et la destination finale

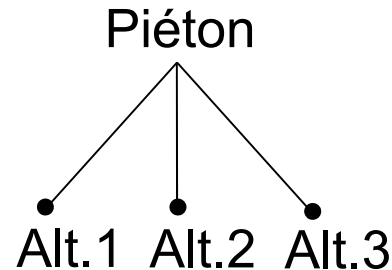
➔ Comment estimer β ?

Modèles microscopiques: opérationnels

Modèles de choix discret: **exemple**

- **Exemple** : supposons ϵ_{in} indépendants et identiquement distribués (iid) avec une distribution aux valeurs extrêmes

 **Modèle Logit**



$P_n(i|C_n)$: **probabilité** pour l'individu n de choisir l'alternative i

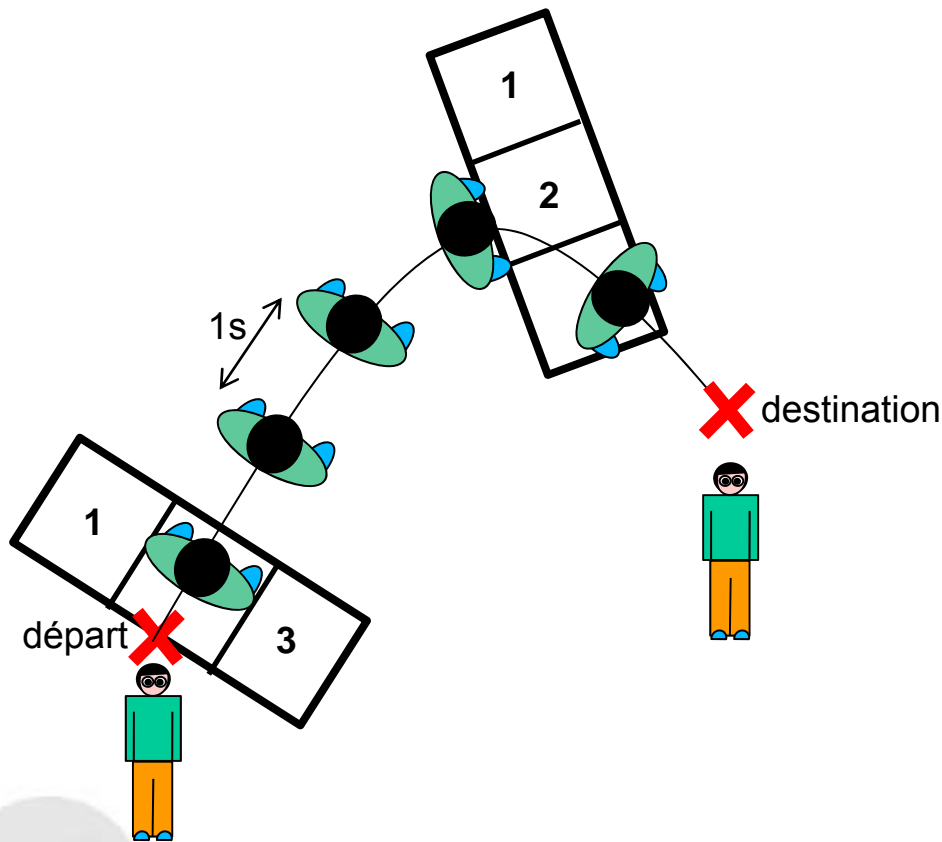
$$P_n(i|C_n) = \frac{e^{V_{in}}}{\sum_{j \in C_n} e^{V_{jn}}}$$

C_n : Ensemble de choix, dépend du piéton n

Modèles microscopiques: opérationnels

Modèles de choix discret: **exemple**

Trajectoires de piétons



Données

Observation	Choix	dist.1	dist.2	dist.3
1	2			
2	2			
3	2			
4	2			
5	3			
6	2			

Modèles microscopiques: opérationnels

Modèles de choix discret: **exemple**

- Maximisation de la fonction de vraisemblance

$$l(\beta) = \prod_{n \in N} \prod_{i \in C_n} (P_n(i|C_n))^{y_{in}} = \prod_{n \in N} \prod_{i \in C_n} \left(\frac{e^{\beta \text{dist}_i}}{\sum_{j \in C_n} e^{\beta \text{dist}_j}} \right)^{y_{in}}$$

y_{in} : indicateur égal à 1, si le piéton n a choisi l'alternative i , 0 autrement

N : nombre total de piétons

- En pratique, utilisation de la log-vraisemblance (pour raisons numériques)

$$L(\beta) = \sum_{n \in N} \sum_{i \in C_n} y_{in} \log \left(\frac{e^{\beta \text{dist}_i}}{\sum_{j \in C_n} e^{\beta \text{dist}_j}} \right)$$

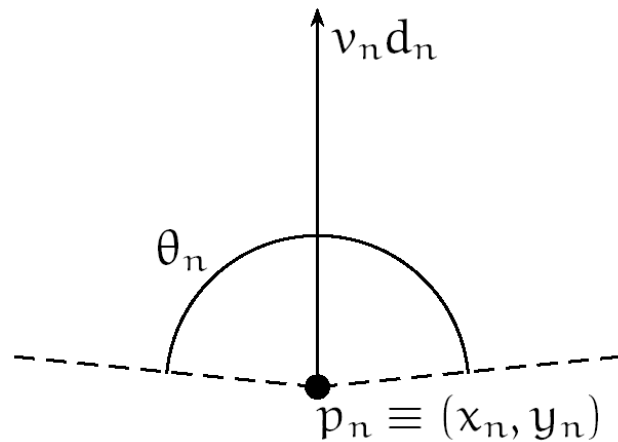


β

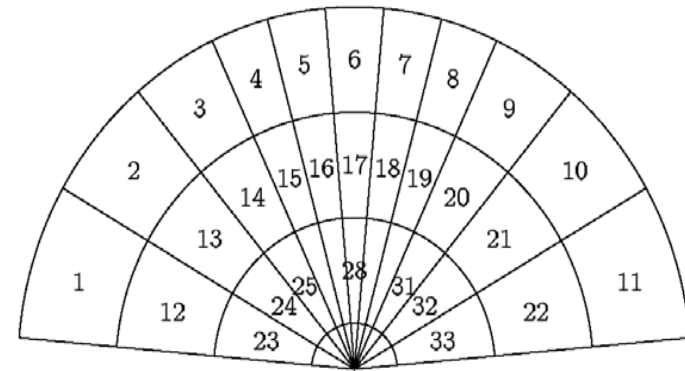
estimés à partir des données

Modèles microscopiques: opérationnels

Modèles de choix discret: **modèle développé**



Espace visuel du piéton



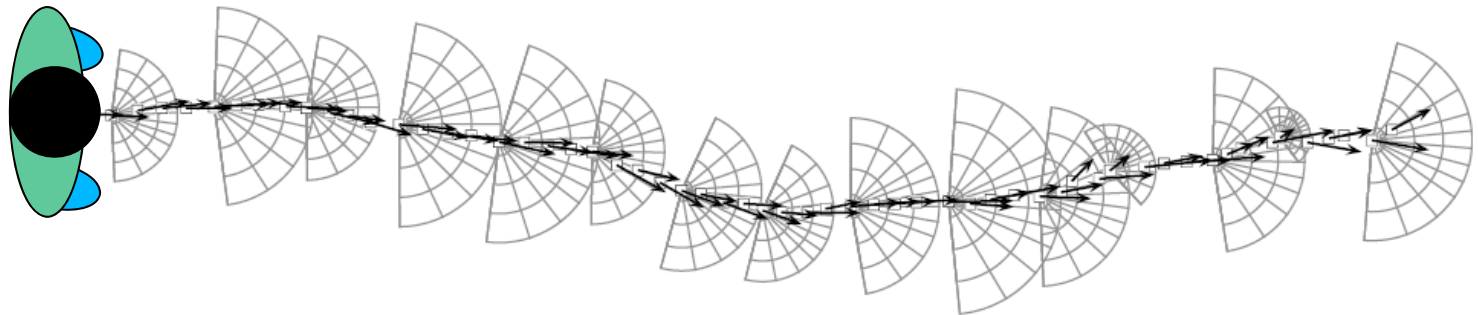
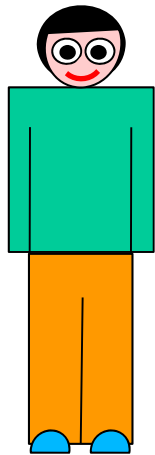
Ensemble de choix : discrétisation de l'espace visuel

➡ De quoi dépend l'ensemble de choix?

Modèles microscopiques: opérationnels

Modèles de choix discret: **modèle développé**

- A chaque pas l'ensemble de choix dépend de la **vitesse** et de la **direction**



 **Ensemble de choix dynamique**

Modèles microscopiques: opérationnels

Modèles de choix discret: **modèle développé**

- Probabilité de choisir l'alternative i (cross nested logit) :

$$P(i|C) = \sum_{m=1}^M \frac{\left(\sum_{j \in C} \alpha_{jm}^{\mu_m/\mu} y_j^{\mu_m} \right)^{\frac{\mu}{\mu_m}}}{\sum_{n=1}^M \left(\sum_{j \in C} \alpha_{jn}^{\mu_n/\mu} y_j^{\mu_n} \right)^{\frac{\mu}{\mu_n}}} \frac{\alpha_{im}^{\mu_m/\mu} y_i^{\mu_m}}{\sum_{j \in C} \alpha_{jm}^{\mu_m/\mu} y_j^{\mu_m}}$$

C : ensemble de choix

M : nombre de nids

V_i : utilité de l'alternative i

α_{jm} : degré d'appartenance de l'alternative j au nid m

μ_m : paramètre du nid m

$y_i = e^{V_i}$

Modèles microscopiques: opérationnels

Modèles de choix discret: **modèle développé**

$$\begin{aligned}
 V_{\text{vdn}} = & \left. \begin{aligned} & \beta_{\text{dir_central}} \text{dir}_{\text{dn}} I_{\text{central}} \\ & \beta_{\text{dir_side}} \text{dir}_{\text{dn}} I_{\text{side}} \\ & \beta_{\text{dir_extreme}} \text{dir}_{\text{dn}} I_{\text{extreme}} \end{aligned} \right\} \\
 & \left. \begin{aligned} & \beta_{\text{ddist}} \text{ddist}_{\text{vdn}} \\ & \beta_{\text{ddir}} \text{ddir}_{\text{dn}} \end{aligned} \right\} \\
 & \left. \begin{aligned} & \beta_{\text{dec}} I_{\text{v,dec}} (v_n/v_{\text{max}})^{\lambda_{\text{dec}}} \\ & \beta_{\text{accLS}} I_{\text{LS}} I_{\text{v,acc}} (v_n/v_{\text{maxLS}})^{\lambda_{\text{accLS}}} \\ & \beta_{\text{accHS}} I_{\text{HS}} I_{\text{v,acc}} (v_n/v_{\text{max}})^{\lambda_{\text{accHS}}} \end{aligned} \right\} \\
 & \left. \begin{aligned} & I_{\text{v,acc}} I_{\text{acc}}^L \alpha_{\text{acc}}^L D_L^{\rho_{\text{acc}}^L} \Delta v_L^{\gamma_{\text{acc}}^L} \Delta \theta_L^{\delta_{\text{acc}}^L} \\ & I_{\text{v,dec}} I_{\text{dec}}^L \alpha_{\text{dec}}^L D_L^{\rho_{\text{dec}}^L} \Delta v_L^{\gamma_{\text{dec}}^L} \Delta \theta_L^{\delta_{\text{dec}}^L} \end{aligned} \right\} \\
 & I_{\text{d,dn}} I_{\text{C}} \alpha_{\text{C}} e^{-\rho_{\text{C}}} D_{\text{C}} \Delta v_{\text{C}}^{\gamma_{\text{C}}} \Delta \theta_{\text{C}}^{\delta_{\text{C}}} \}
 \end{aligned}$$

garder la direction

aller à la destination

accélérer / décélérer (en flot libre)

suivre un meneur

éviter les collisions

Modèles microscopiques: opérationnels

Modèles de choix discret: **modèle développé**

- Données pour l'estimation des paramètres (Japon):



Modèles microscopiques: opérationnels

Modèles de choix discret: **modèle développé**

- Données de validation (Pays-bas):





Pourquoi? Comment?



- **Tester la généralité du modèle par son applicabilité**
- **Comparaison entre les prédictions du modèles et la réalité**

Simulation

Simulation

- Implémentation du modèle développé
- Applications:
 - Design de nouvelles infrastructures
 - Exploitation d'infrastructures actuelles
 - Signalétique 
 - Système d'information 

Simulation

- Simulateur du modèle développé au
- Exemple: Bottleneck



Conclusion

Conclusion

La modélisation permet de :

- comprendre le comportement des piétons / foules
- analyser les relations de cause à effet
- anticiper le comportement des piétons / foules
- dimensionner des infrastructures
- exploiter des infrastructures actuelles

Merci de votre attention